



## PROJETO MECATRÔNICO DE UM ROVER PARA APLICAÇÃO NA ANÁLISE DE SOLOS USANDO TECNOLOGIA LIBS - PARTE I

J.F. Archila<sup>1</sup>, I.L. Argote<sup>1</sup>, V. A. H. Higuti<sup>1</sup>, O.E. Rueda<sup>1</sup>, L.A.B. Marão<sup>1</sup>, M. Campos<sup>2</sup>, K.S.G. Silva<sup>2</sup>, V. Vanhalst<sup>1</sup>,  
L.A. Neto<sup>1</sup>, P. Tiberon<sup>1</sup>, J.L. Saavedra<sup>1</sup>, J.F. Espinosa<sup>1</sup>, J.P.M. Galdames<sup>1</sup>, D.V. Magalhães<sup>1</sup>,  
D.M.B.P. Milori<sup>2</sup>, M. Becker<sup>1</sup>

(1) USP EESC LabRom, Avenida Trabalhador São-Carlense, 400, 13562-590, São Carlos, SP,  
john.faber@usp.br, ingridargote@usp.br, akihirohh@gmail.com, oscar.rueda@usp.br, luiz.mara@usp.br,  
victorvanhalst@gmail.com, luiz.alves.neto@usp.br, petrus.tiberon@usp.br, jlsg.93@gmail.com,  
pipelon.1213@gmail.com, galdames@sc.usp.br, daniel@sc.usp.br, becker@sc.usp.br

(2) Embrapa instrumentação, Rua Quinze de Novembro, 1452, 13560-970, São Carlos, SP,  
marcelobtu@gmail.com, ninloth@gmail.com, debora.milori@embrapa.br

**Resumo:** O conhecimento da composição do solo na agricultura é uma das variáveis importantes a serem consideradas na agricultura de precisão (AP); atualmente a coleta de dados da composição do solo é feita manualmente ou com o apoio de implementos semi-mecanizados. O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um robô tipo *rover* (explorador) para apoiar a coleta dos dados da composição do solo em culturas perenes, permitindo o incremento do número de amostras a serem coletadas, graças à tecnologia LIBS (do acrônimo em inglês *Laser-induced breakdown spectrometry*). Deseja-se que essa tecnologia seja embarcada no *rover*; por isso, o mesmo é projetado para atender às necessidades do sistema LIBS. O protótipo do veículo *rover* foi desenvolvido a partir da metodologia de projeto mecatrônico, elaborando os modelos cinemáticos e dinâmicos que serviram de base para o projeto mecânico e eletrônico de seus componentes. Esse é um primeiro protótipo, que serve como plataforma de testes para futuros avanços na área.

**Palavras-chave:** *rover*, LIBS, projeto mecatrônico, dados agrícolas, agricultura de precisão.

### MECHATRONIC PROJECT OF A ROVER APPLIED TO SOIL ANALYSIS USING LIBS TECHNOLOGY PART I

**Abstract:** Knowledge of the composition of the soil in agriculture is one of the important variables to be considered in precision agriculture (PA); currently collecting data on soil composition is done manually or with the support of semi-mechanized implements. This paper presents the development of a robot *rover* type (explorer) to support data collection of soil composition in perennial crops, allowing the increase of the number of samples to be collected, thanks to LIBS technology (the acronym Laser-Induced Breakdown Spectrometry); it is hoped that this technology is embedded in the *rover*, so it is designed according to the needs of the LIBS system. The *rover* vehicle prototype was developed from the mechatronic design methodology, developing kinematic and dynamic models that formed the basis for mechanical and electronic components. This is a first prototype that serves as a test platform for future advances in the field.

**Keywords:** *rover*, LIBS, mechatronic project, agriculture data, precision agriculture

#### 1. Introdução

De acordo com o estudo “Perspectivas de População Mundial”, divulgado pela ONU (Green et al, 2012) em junho de 2013, a população mundial atingiu 7,2 bilhões de pessoas e as projeções mostram que ela deve crescer em torno de 33% e atingir a marca de 9,6 bilhões de habitantes até 2050. Devido à necessidade de suprir a demanda alimentar populacional, exige-se do setor agro-industrial a busca por maior produtividade e eficiência. Uma das formas é através do emprego de fertilizantes, compostos de origem orgânica ou inorgânica responsáveis por repor os principais nutrientes necessários à planta. No contexto brasileiro, os fertilizantes representam uma significativa fatia do custo total da produção, podendo chegar a 38% em uma cultura de soja segundo a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. Além disso, são insumos fortemente dependentes de importação (apenas cerca de 30% é produzido no Brasil).

Nesse cenário, uma proposta para aumentar a eficiência no uso de fertilizantes nos campos brasileiros é a criação de um mapa de nutrientes de plantações, de tal forma que, sabendo as necessidades daquele local específico, seja possível fazer uma adubação “personalizada”, de tal modo que todas as plantas tenham a melhor condição

possível de se desenvolver. Uma técnica que possibilita esse tipo de análise, por se tratar de uma técnica óptica, é o LIBS (Espectroscopia de emissão óptica com plasma induzido por laser).

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um robô agrícola tipo *rover*, que no futuro permitirá que seja embarcando um módulo responsável pela coleta e análise de amostras de solo usando um sistema LIBS o projeto é apoiado na metodologia de projeto mecatrônico onde são empregados os modelos cinemático e dinâmico do veículo. Esses modelos são utilizados para o desenvolvimento do sistema mecânico e os sistemas eletrônico e de controle para propulsão e esterçamento. Os sistemas eletrônico e de controle serão apresentados no artigo parte II.

## 2. Materiais e Métodos

O projeto atual é financiado pela Embrapa, CNPq, CAPES e FAPESP em uma parceria entre o LabRom da USP-EESC e a EMBRAPA Instrumentação. Para o desenvolvimento foi criada uma equipe multi-disciplinar, formada por engenheiros mecânicos, eletrônicos, mecatrônicos e físicos. O diagrama de blocos da metodologia utilizada é apresentado na Figura 1. Todo o processo inicia pela definição dos requerimentos do projeto (Bloco “*Pesquisa e análise das informações*”), seguido pela definição da tarefa (Bloco “*Tarefa*”) e o espaço de trabalho (bloco “*Entorno*”) respondendo as perguntas clássicas da robótica móvel (Siegwart, 2011). Foram desenvolvidos modelos cinemáticos, e dinâmicos (Bloco “*Modelagem cinemática e dinâmica do robô*”), a modelagem CAD (*Computer Aided Design*), CAE (*Computer Aided Engineering*) (Bloco “*Simulações CAD, CAE*”), e os projetos elétrico e eletrônico que são apresentados na parte II do artigo (Blocos “*projeto eletrônico*” “*projeto de controle*” e “*Projeto da interface de controle*”), e finalmente a integração e fabricação (Blocos “*Integração mecatrônica*” e “*Fabricação do robô*”).

As atividades foram organizadas pelo coordenador do projeto, passadas às equipes multi-disciplinares e discutidas com o intuito de lograr a integração entre os diferentes sistemas e componentes do *rover*. Dessa forma, obteve-se um protótipo funcional de *rover* para coleta de dados do solo em uma cultura perene.

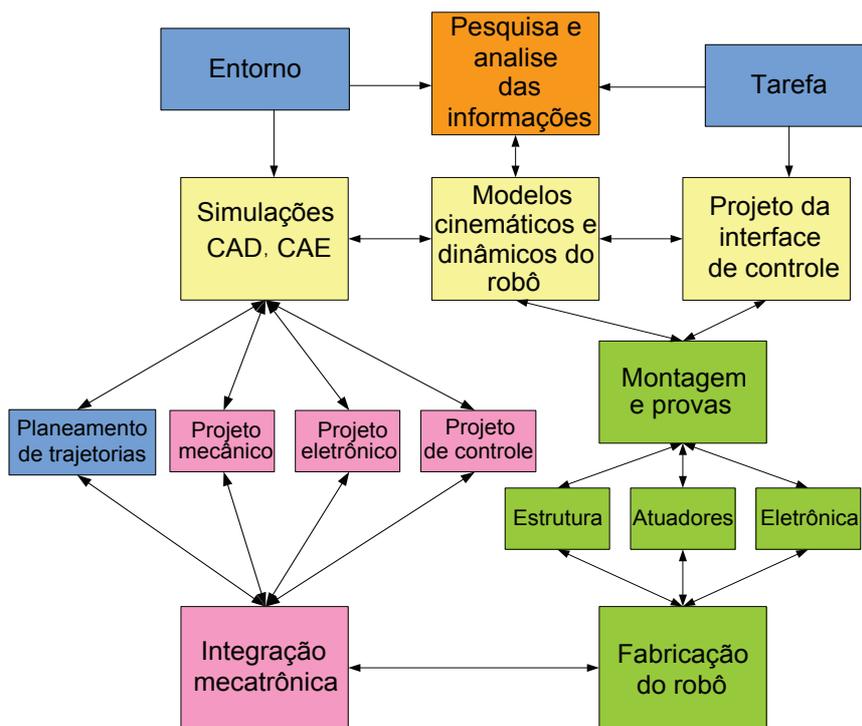


Figura 1. Metodologia para o desenvolvimento do *rover* (Archila e Becker, 2013).

## 3. Resultados e Discussão

O projeto desenvolveu não somente os modelos CAD para os diferentes sistemas do *rover*, como também os modelos cinemático e dinâmico e realizou simulações (através de ferramentas CAE). Após essa fase, foi construído o protótipo funcional. Nas figuras a seguir são apresentados os modelos CAD e CAE desenvolvidos.

O modelo do sistema LIBS foi desenvolvido em Solid Works® visando integrá-lo ao *rover*. As vistas do modelo são apresentadas na Figura 2. Nessa figura é possível observar a distribuição dos componentes do sistema LIBS em uma placa que foi montada na posição frontal do *rover* (conforme Figura 3).

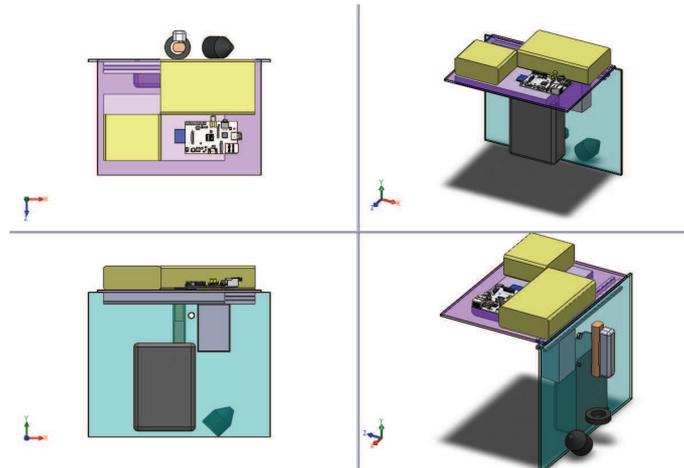


Figura 2. Distribuição espacial para o sistema LIBS.

O modelo CAD desenvolvido para o projeto do *rover* é apresentado na Figura 3. Desde o início da concepção do projeto foi definido como um requisito fundamental de projeto, ter-se um sistema modular onde fosse possível alterar certos sistemas do *rover*, por exemplo, sistema de acionamento das rodas, sistema de baterias, etc. Dessa forma, essa modularidade permite realizar testes com diferentes sistemas e componentes. A Figura 3 apresenta duas possíveis configurações para o *rover*: em (a) um veículo com 4 rodas, podendo serem as 4 motoras, ou apenas 2 motoras e em (b) com 3 rodas, sendo 2 motoras e uma roda pivotada (o que é largamente conhecido na literatura por acionamento diferencial).

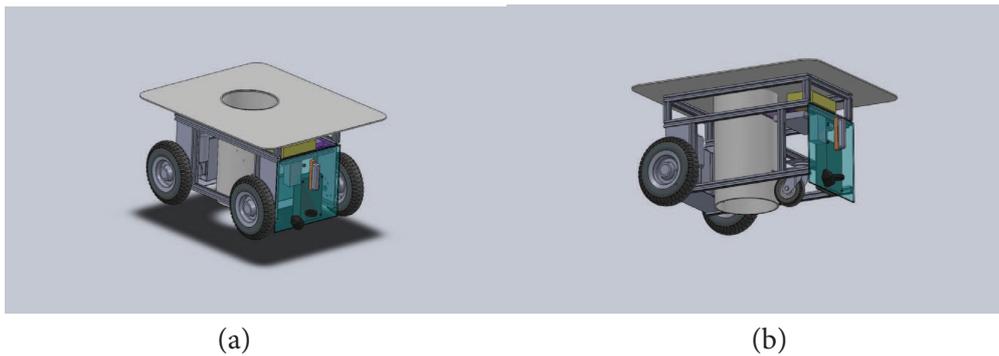


Figura 3. Configurações para o *rover*. (a) com quatro rodas, e (b) com duas rodas e uma roda pivotada.

Foram desenvolvidos os modelos cinemático (Equação 1) e dinâmico (Equação 2) para o *rover*, onde  $r$  é o raio das rodas,  $\theta$  é a orientação do *rover*;  $j_1$  e  $j_2$  são as velocidades angulares das rodas e  $l$  o comprimento. Já no modelo dinâmico as variáveis são  $I_{zz}$  que corresponde à inércia do Robô,  $d$  é a largura do robô,  $N$  as forças normais, e  $F$  as forças de atrito.

$$\dot{x} = R(q) \dot{x}_r = \begin{bmatrix} c\theta & -s\theta & 0 \\ s\theta & c\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} j_1 \\ j_2 \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c\theta & -s\theta & 0 \\ s\theta & c\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} rj_1 \\ rj_2 \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{rj_1}{2} + \frac{rj_2}{2} \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ I_{zz} \end{bmatrix} \ddot{\theta} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N_{left} - N_{right})l \\ (N_{back} - N_{front})d + T_{motor} \\ (F_{fxright} - F_{fxleft})l - (F_{fyfront} - F_{fyback})d \end{bmatrix} \quad (2)$$

A Figura 4 apresenta os modelos cinemáticos e dinâmicos que foram simulados (Moreira et al, 2014) usando MatLab® (modelos CAE), com os resultados obtidos nas simulações CAE foram dimensionados os motores, a estrutura do *rover*, suas rodas e a parte elétrica e eletrônica do robô segundo a metodologia apresentada anteriormente.

As simulações apresentadas na figura 4 mostram os comportamentos do *rover* com acionamentos em apenas duas rodas durante a execução de uma manobra. Pode-se observar o comportamento de suas velocidades angulares, acelerações angulares e torques nas rodas direita (em vermelho) e esquerda (em azul). A manobra consistiu basicamente em: o *rover* se encontrava inicialmente estático; para  $t = 1$  s, as velocidades dos motores são incrementadas em igual magnitude, mas com sentido contrário, produzindo um giro no *rover*; depois do giro, as velocidades das rodas tornam-se iguais em magnitude e sentido, produzindo um deslocamento linear no *rover*. Dessa forma, obteve-se como resposta as acelerações e os torques dos motores necessários para executar a manobra, e pôde-se observar que os mesmos atingem um valor máximo de 18 N-m no instante de tempo  $t = 6$  s da simulação.

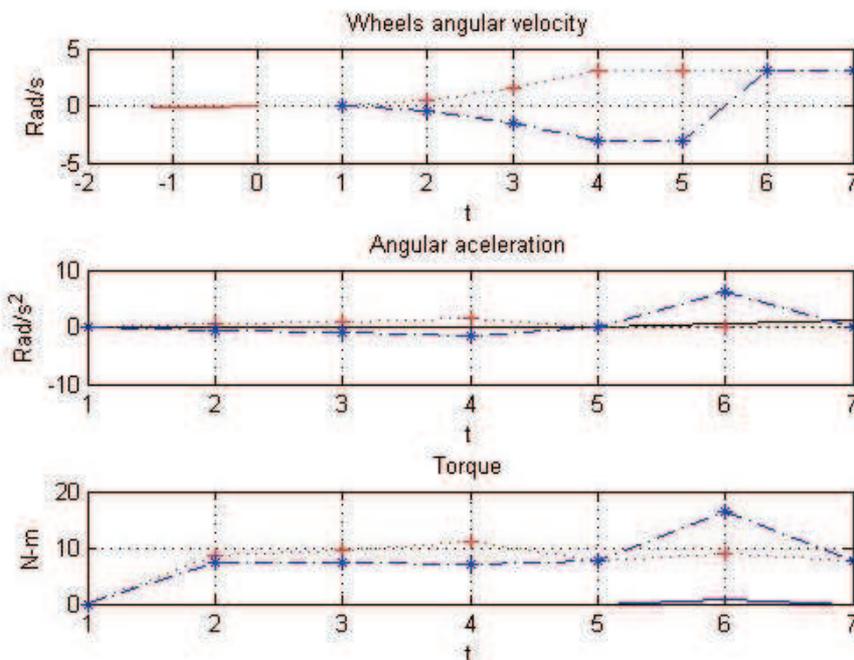


Figura 4. Simulação dos modelos cinemático e dinâmico do *rover*.

#### 4. Conclusões

O trabalho apresentou o desenvolvimento do projeto de um *rover* voltado para aplicações em agricultura de precisão como um sistema mecatrônico. Nesse desenvolvimento foram incluindo os modelos CAD e CAE, integrados com a tecnologia LIBS para a coleta de dados agrícolas. O *rover* apresenta uma configuração modular o que permite a troca rápida de partes e peças para que diferentes configurações possam ser testadas.

A partir da modelagem cinemática e dinâmica foi possível integrar os sistemas mecânicos e eletrônicos permitindo o desenvolvimento de um projeto mecatrônico. O detalhamento dos sistemas elétrico, eletrônico e de controle será apresentado na Parte II do artigo.

#### Agradecimentos

Os autores expressam o seu agradecimento a Embrapa, CNPq, FAPESP, CAPES, EESC e LabRom pelo apoio recebido. Os projetos de pesquisa que apoiaram o presente trabalho foram: FAPES 2013/07226-1. CNPq 479994/2013-7, CNPq 482579/2013-1.

#### Referências

- ARCHILA, J.; BECKER, M. Mathematical models and design of an AGV (Automated Guided Vehicle). Industrial Electronics and Applications (ICIEA), IEEE Conference 2013.
- FURLANETTI, M.; ARCHILA, J.; BECKER, M. Projeto conceitual de robô com capacidade de recolher latas em ambiente simulando uma praia. CREEM 2012.
- GREEN, M.; JOSHI, S.; ROBLES, O.; Relatório sobre a situação da população mundial 2012, Relatório produzido pela divisão de informação e relações externas UNFPA, Fundo de População das Nações Unidas.
- MOREIRA, J.; ARCHILA, J.; BECKER, M.; Modelagem e análise dos rovers Crab e Shrimp para utilização em agricultura, CONEM 2014.
- SIEGWART, R.; NOURBAKSHI, I. Introduction to Autonomous Mobile Robots. MIT Press, 2004.